

Tópico: T2. Fundición, solidificación y soldadura

Efecto del calor aportado y de la cantidad de capas en depósitos de aceros inoxidables súper dúplex

S. Zappa^{a,b}; H. Probicito^b; H. Svoboda^{a,c}, E. Surian^d

^aCONICET, Av. Rivadavia 1917 CABA (1033), Argentina

^bFacultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Ruta 4 km 2 Lomas de Zamora (1832), Argentina

^cGTSyCM3, INTECIN, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires, Av. Las Heras 2214 CABA (1127), Argentina

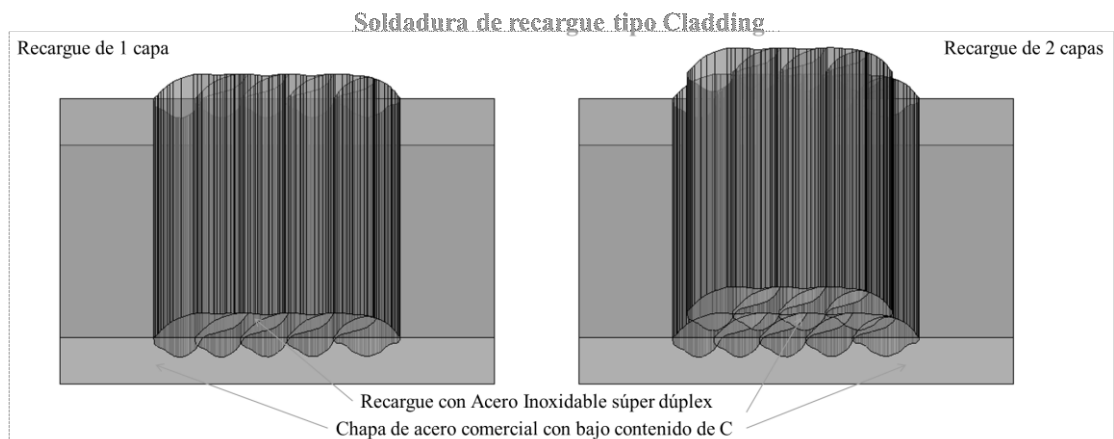
^dConsultor Independiente, Blanco Encalada 4580 "12-A" CABA (1431), Argentina

Email: zappasebastian@hotmail.com, hectorprobicito@gmail.com, hsvobod@fi.uba.ar, esurianster@gmail.com

Preferencia de presentación (oral o póster): oral

Palabras Claves: *Acero Inoxidable Súper Dúplex, Soldadura de recargue, Microestructura, Corrosión*

Resumen Grafico:



En esta imagen se puede observar la geometría de los cupones de soldadura estudiados. Sobre una chapa de acero comercial de bajo contenido de C, se la recubre con un acero inoxidable súper dúplex otorgándole propiedades superficiales particulares. La técnica utilizada para generar el recubrimiento es por medio de soldadura por arco eléctrico con gas de protección. Variaciones en la cantidad de capas y los parámetros de soldadura utilizados pueden modificar la microestructura y, finalmente, las propiedades del recubrimiento.

Tópico: T2. Fundición, solidificación y soldadura

Efecto del calor aportado y de la cantidad de capas en depósitos de aceros inoxidables súper dúplex

S. Zappa^{a,b*}; H. Probicito^b; H. Svoboda^{a,c}, E. Surian^d

^aCONICET, Av. Rivadavia 1917 CABA (1033), Argentina

^bFacultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Ruta 4 km 2 Lomas de Zamora (1832), Argentina

^cGTSyCM3, INTECIN, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires, Av. Paseo Colón 850 CABA (1063), Argentina

^dConsultor independiente, Blanco Encalada 4580 "12-A" CABA (1431), Argentina

*Autor correspondiente. Dirección de correo electrónico: zappasebastian@hotmail.com

ABSTRACT

Super duplex stainless steels have a dual structure with 50% of ferrite and austenite where better mechanical properties and corrosion resistance are obtained. Thanks to these features use is growing, mainly in the industries of paper, chemical, gas and oil. Corrosion resistance facing welding or cladding is used for the manufacture and / or repair of parts and equipment. The surface properties of the coating depend on the chemical composition and the microstructure in the area, which in turn are defined by the dilution and the welding process. Therefore, cladding welding of super duplex stainless steels, the control the phases present in the microstructure is essential to ensure the required properties. The objective of this work was to study the effect of heat input (high, medium and low) and the amount of (one and two) layers of clad weld deposit super duplex stainless steel of the chemical composition, microstructure and hardness. To this end claddings coupons they were welded by semiautomatic welding process shielding gas using a solid 1.2 mm diameter with Ar + 20% CO₂ shielding gas wire. 1 and 2 layers welded with low, medium and high heat input (modifying only the welding speed), six coupons were obtained. Characterized macro and microstructure, the geometric and chemical dilution was determined by energy dispersive spectrometry and microstructure was observed by optical and the ferrite content was quantified and Vickers microhardness was determined.

Keywords: Super Duplex Stainless Steel, Cladding, Heat Input, Dilution, Microstructure

RESUMEN

Los aceros inoxidables súper dúplex poseen una estructura dual con un 50% de ferrita y austenita donde se obtienen las mejores propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión. Gracias a estas características su utilización se encuentra en crecimiento, fundamentalmente, en las industrias del papel, químicas, del gas y del petróleo. La soldadura de recargue, o cladding es utilizada para la fabricación y/o reparación de partes y equipos. Las propiedades superficiales del recubrimiento dependen de la composición química y la microestructura en esa zona, las que a su vez quedan definidas por la dilución y el procedimiento de soldadura. Por lo tanto, en soldadura de recargue de aceros inoxidables súper dúplex, el control de las fases presentes en la microestructura es esencial para garantizar las propiedades requeridas. El objetivo de este trabajo fue el de estudiar el efecto del calor aportado (alto, medio y bajo) y de la cantidad de capas (una y dos) del depósito de soldadura de acero inoxidable súper dúplex sobre la composición química, la microestructura y la dureza. Para tal fin se soldaron cupones de recargue mediante el proceso de soldadura semiautomático con protección gaseosa, empleando un alambre macizo de 1,2 mm de diámetro con Ar + 20% CO₂ como gas de protección. Se obtuvieron seis cupones: 1 y 2 capas soldados con bajo, medio y alto calor aportado (modificando únicamente la velocidad de soldadura). Sobre los mismos se caracterizó la macro y microestructura, se determinó la dilución geométrica y química mediante la técnica de espectrometría dispersiva en energías y se observó la microestructura mediante microscopía óptica, se cuantificó el contenido de ferrita y se determinó la microdureza Vickers.

Palabras Clave: Acero Inoxidable Súper Dúplex, Soldadura de recargue, Calor Aportado, Dilución, Microestructura

1. Introducción

Los consumibles para soldadura por arco eléctrico se utilizan para la unión de piezas (soldadura de unión) y para la protección de superficies sometidas a servicios específicos (soldadura de recargue, de revestimiento o cladding). En los últimos años, la soldadura de recargue se ha implementado en numerosas industrias, por una cuestión económica, generando una solución a problemas de ingeniería. Las aplicaciones principales de la soldadura de recargue son: industrias del papel, químicas, procesamiento de fertilizantes, procesamiento de alimentos, industria nuclear y en las industrias del gas y del petróleo [1]. El concepto general de la soldadura de recargue se basa en depositar una capa de material con propiedades específicas, fundamentalmente resistencia a la corrosión o desgaste, sobre un elemento o pieza de acero al carbono o de baja aleación. En forma particular, las características deseables en los materiales de recargue de aceros inoxidable a depositar son: buena soldabilidad, buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión generalizada y localizada. Los aceros inoxidable dúplex poseen todas estas características [2].

Los aceros inoxidable dúplex (DSS) se caracterizan por poseer una estructura dual constituida por ferrita y austenita, con una relación entre ambas fases cercana a 1. Poseen una combinación de buenas propiedades de tracción, tenacidad y resistencia a la corrosión, que dependen de la composición química y de la relación entre las fases mencionada anteriormente. El desarrollo de los aceros inoxidable dúplex ha permitido obtener materiales de alto rendimiento, a partir del aumento de elementos de aleación como el Cr, Mo y N, dando como resultado los aceros inoxidable súper dúplex (SDSS) [3].

Las propiedades de los SDSS están estrictamente relacionadas a la composición química, el equilibrio microestructural de ferrita y austenita y a la presencia de fases secundarias. Se ha encontrado que la precipitación de dichas fases, tales como nitruros de cromo (Cr₂N), austenita secundaria (γ_2) y compuestos intermetálicos, como ser fase sigma (σ) y chi (χ) tienen una gran influencia sobre las propiedades y el rendimiento de estos aceros [4]. Debido a su alta resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas mejoradas se utilizan ampliamente en plantas petroquímicas tales como instalaciones en las plataformas petrolíferas y equipos modernos proceso off-shore. Tubos, bombas, recipientes a presión, separadores e intercambiadores de calor son algunos ejemplos de estas aplicaciones [5].

El procedimiento de soldadura tiene un rol relevante en las características de los depósitos obtenidos, ya que se puede modificar el equilibrio entre fases y generar la precipitación de fases secundarias obteniendo una pérdida importante de las propiedades. En términos generales, en soldaduras de SDSS, altas velocidades de enfriamiento, pueden dar como resultado una excesiva cantidad de ferrita y la precipitación de nitruros. Por otro lado, una baja velocidad de enfriamiento puede generar la precipitación de fases intermetálicas [6].

Además, la composición química, la microestructura y las diferentes propiedades de los materiales de recargue son dependientes del grado de dilución del metal aportado y el metal base fundido, sobre el cual ése se deposita y se mezcla. La dilución reduce la concentración de elementos de aleación y aumenta el contenido de carbono en la capa de recargue (dado

que el material base generalmente posee mayor contenido de este elemento que un acero dúplex), lo que disminuye las propiedades de resistencia a la corrosión y causa otros problemas metalúrgicos. Además, un grado de dilución no controlado en un recargue, puede producir un desequilibrio de las fases microestructurales presentes (50 % de ferrita y 50 % de austenita), que caracterizan a estos aceros [1, 2].

El objetivo de este trabajo fue el de estudiar el efecto del calor aportado y de la cantidad de capas del depósito de soldadura de acero inoxidable súper dúplex sobre la composición química, el grado de dilución, la microestructura y la microdureza del mismo.

2. Experimental

Se soldaron cupones de soldadura de recargue, sobre una chapa de acero comercial de bajo carbono mediante el proceso de soldadura semiautomático con protección gaseosa (GMAW). A fin de variar el aporte térmico (HI), se emplearon en todos los casos los mismos parámetros eléctricos, modificando únicamente la velocidad de soldadura, de manera de generar diferentes velocidades de enfriamiento. Los parámetros de soldadura se eligieron garantizando un arco eléctrico estable y se varió la velocidad de soldadura con el propósito de poder comparar situaciones extremas de aporte térmico. El consumible empleado fue un alambre macizo de 1,2 mm de diámetro que deposita un material SDSS. La Tabla 1 muestra la identificación de las probetas, los parámetros de soldadura promedio y el calor aportado en cada caso.

Cupón	T (V)	C (A)	V (mm/s)	HI (kJ/mm)
S1B	28	203	9,4	0,6
S1M	32	208	5,5	1,2
S1A	27	203	3,1	1,8
S2B	28	206	9,7	0,6
S2M	31	210	5,6	1,2
S2A	27	206	3,1	1,8

Donde: T: tensión; C: corriente; V: velocidad; HI = Tensión x Corriente / Vel. Soldadura

Tabla 1. Identificación y parámetros de soldadura de los recargues.

La posición de soldadura fue plana, bajo mano y realizada con un dispositivo mecanizado. El gas de protección fue Ar-20%CO₂, con un caudal de 18 L/min y la distancia entre el pico de contacto y la pieza, en todos los casos, fue de 20 mm.

Asimismo, se analizó el efecto de la cantidad de capas, realizándose probetas con uno y dos capas. La configuración de los cupones de recargue fue cinco cordones en la primer capa y cuatro en la segunda.

Las chapas utilizadas como base fueron de acero comercial de bajo contenido de C de 3" x 3/8" x 250 mm. La Tabla 2 muestra la composición química de la chapa base determinada por espectrometría de emisión óptica y del metal de aporte puro del consumible reportado por el fabricante [7].

De las probetas soldadas se extrajeron cortes transversales para la caracterización macro y microestructural y se determinó la dilución geométrica por medio del área de metal base fundido (B) dividido el área total (A + B) [2], como se muestra en la Figura 1. A fin de evaluar la homogeneidad química dentro del recargue,

sobre cortes transversales de los cupones, se realizaron mediciones con Espectrometría de rayos X dispersiva en energía (EDS) en el centro de cada cordón de los recargues, para determinar la dilución química, definida como la diferencia entre ésta y la composición química del metal de aporte puro reportada por el fabricante.

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	W
Chapa	0,10	0,20	0,58	-	-	-	-	-
SDSS	0,02	0,3	0,7	25,2	9,2	3,6	0,6	0,62

Tabla 2. Composición química de la chapa base y del consumible.



Fig. 1. Geometría del recargue y dilución geométrica.

Además, se caracterizó la microestructura mediante microscopía óptica (LM), se realizó la cuantificación de ferrita y austenita por medio de metalografía cuantitativa a 500x y se midió la microdureza Vickers sobre las superficies de los recargues en el último cordón soldado, zona de menor dilución.

3. Resultados y Discusión

La Figura 2 muestra el aspecto superficial de los recargues obtenidos. Se puede observar, en todos los cupones, bajos niveles de salpicaduras y de escoria. Además, los recargues presentaron una superficie plana con una buena terminación.

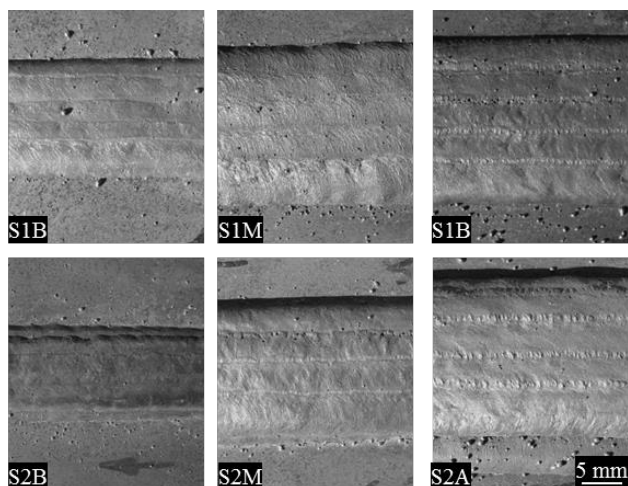


Fig. 2. Aspecto superficial de los cordones.

En la Figura 3 se muestran los cortes transversales de las distintas probetas soldadas. Se puede ver la chapa base, la zona afectada por el calor y el metal de soldadura conformando el recargue. Además, en el cupón S2A, se observa una discontinuidad parcial entre la primera y segunda capa del recargue, asociada a una falta

de fusión entre cordones.

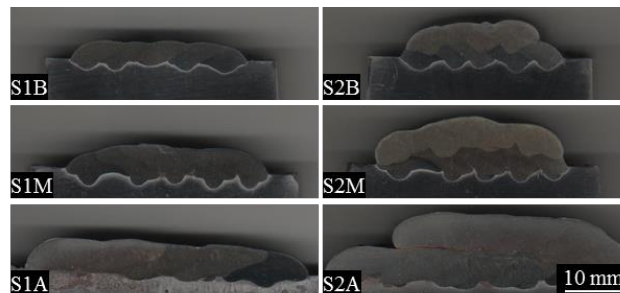


Fig. 3. Cortes transversales de los recargues.

En la Tabla 3 se presentan los aspectos dimensionales (penetración, ancho y altura) y la dilución sobre cada uno de los recargues.

Cupón	P (mm)	An (mm)	Al (mm)	Dilución (%)
S1B	1,61	28,78	3,12	31,6
S1M	2,49	33,10	4,24	30,3
S1A	2,15	46,31	5,26	28,3
S2B	1,99	26,65	6,13	22,2
S2M	2,44	31,18	7,95	19,7
S2A	2,24	49,73	10,39	17,1

P: penetración; An: ancho; Al: alto

Tabla 3. Características geométricas de los recargues soldados.

Puede verse que las dimensiones del recargue se vieron afectadas por los parámetros de proceso empleados. Tanto para los cupones soldados con una capa como los soldados con dos capas, el ancho y la altura de los recargues aumentaron al aumentar el HI. Sin embargo, la penetración no tuvo ese comportamiento, encontrándose pequeñas diferencias para las diferentes condiciones. Algunos autores [8] comentan que los parámetros dimensionales (penetración, ancho y altura) de los cordones soldados son inversamente proporcionales a la velocidad de soldadura. Es decir, al aumentar la velocidad disminuye el HI por unidad de longitud, generando una disminución en el ancho y la altura y una menor fusión del metal base, produciendo una menor penetración. Otros autores [2], establecen que a mayor velocidad de soldadura el ancho y la altura del cordón disminuye, pero la penetración aumenta. La disminución en el ancho y la altura del cordón pueden ser atribuidas a la disminución del HI por unidad de longitud de soldadura y a que, a mayor velocidad de soldadura, menor consumible se deposita. Con una velocidad de soldadura baja, el arco eléctrico es casi vertical y, en este caso, la piletta líquida amortigua el efecto de arco y evita una penetración mayor [1, 2], efecto evidenciado en el presente trabajo. Asimismo, se puede ver que la segunda capa prácticamente duplica la altura del depósito.

La dilución geométrica general del recargue osciló entre un 17 y un 30 % para las distintas condiciones de soldadura. En este sentido, este hecho es un dato relevante, dada la importancia de la composición química en la formación de la microestructura [1]. El porcentaje de dilución del metal base en la piletta líquida

disminuyó con el aumento del HI. Para una capa osciló entre 28,3 y 31,6 %, mientras que con dos capas se ubicó entre un 17,1 y 22,2%. Es interesante notar que al aumentar el calor aportado de 0,6 a 1,8 kJ/mm no genera grandes variaciones en la dilución geométrica de los recargues, siendo ésta de un 30 y 20 % aproximadamente para una y dos capas, respectivamente.

La Tabla 4 muestra los resultados de dilución química medida en cada cordón de los recargues soldados con una capa.

Cupón	1er (%)	2do (%)	3er (%)	4to (%)	5to (%)
S1B	44,9	30,5	32,1	26,9	30,1
S1M	34,8	25,5	21,8	26,6	24,9
S1A	24,7	11,2	10,5	10,5	12,0
S2B	24,8	20,8	15,0	15,1	-
S2M	22,1	19,4	23,2	20,1	-
S2A	16,2	10,6	8,3	7,0	-

Tabla 4. Dilución química de los recargues soldados con una capa.

Se puede ver que el porcentaje de dilución disminuye al aumentar el HI para todos los cordones. Esto es consistente con lo determinado en la medición de dilución geométrica. Además, el primer cordón presenta una mayor dilución, la cual disminuye hacia los sucesivos cordones, alcanzando un valor mínimo. En general, este valor se alcanza entre el segundo y tercer cordón. Esto podría estar asociado a que, a partir del segundo cordón, el volumen de material fundido está compuesto por la combinación de la chapa base y los cordones anteriores, provocando que la dilución disminuya hasta un cordón determinado y luego se mantenga constante, en términos generales. Es decir a partir del tercer cordón se puede considerar que no hay gran variación de la dilución en el recargue, para una y dos capas.

Finalmente, los recargues soldados con dos capas presentaron menores valores de dilución, para todos los cordones, respecto a los recargues de una capa.

La Figura 4 muestra la microestructura obtenida para los recargues soldados en zonas del último cordón (menor dilución) para las diferentes muestras.

En todos los casos, la microestructura estuvo constituida principalmente por dos fases, ferrita y austenita. En este sentido, el contenido de austenita fue mayor que el de ferrita para todos los recargues. Sin embargo, se pudo observar que al aumentar el HI y al pasar de una a dos capas el contenido de ferrita aumento. El HI es una medida relativa de la energía transferida por unidad de longitud soldada. Éste es un factor importante porque modifica la velocidad de enfriamiento, la cual afecta la evolución microestructural y las propiedades finales del cordón soldado. Según la literatura [1] a menor calor aportado, mayor contenido de ferrita en la microestructura. Esto está asociado a que al disminuir el HI aumenta la velocidad de enfriamiento y el tiempo de transformación de ferrita en austenita es reducido, dando como resultado un mayor contenido de ferrita en la microestructura. Además, con mayor aporte térmico, la piletta líquida permanece más tiempo en este estado, posibilitándose una mayor oxidación de los elementos de bajo potencial de oxidación, que pasan como óxidos a la escoria o al medio, disminuyendo así su contenido en el metal depositado, entre ellos el Cr, uno de los más oxidables y el principal elemento ferritizante [9].

Por otro lado, la composición química del depósito es fuertemente dependiente de la dilución obtenida. El control de la dilución es muy importante durante la soldadura, fundamentalmente en recubrimientos, donde se buscan bajos niveles de dilución. Cuando la dilución es baja, la composición química del recubrimiento es cercana a la composición química del consumible y las propiedades finales del recubrimiento son las deseadas [1]. La literatura [10] menciona que al aumentar los niveles de dilución el contenido de ferrita en la microestructura disminuye. Un aumento de la dilución aumenta el contenido de C y reduce los contenidos de Cr y Ni del recubrimiento, aumentando el contenido de austenita en la microestructura. Los cambios en la dilución gobiernan la composición química del recubrimiento. Un aumento en la dilución reduce el contenido de elementos estabilizadores de la ferrita (alfágenos) y también reduce, pero de manera moderada, los elementos estabilizadores de la austenita (gammágenos), dando como resultado una disminución del contenido de ferrita [1, 10]. De acuerdo a lo observado mediante microscopía óptica y a lo discutido anteriormente, se presentan dos efectos opuestos. Por un lado, una disminución de la velocidad de soldadura genera un mayor tiempo de transformación de ferrita en austenita dando como resultado un menor contenido de ferrita en la microestructura [11]. Por otro lado, al disminuir la velocidad de soldadura disminuye la dilución con la chapa base, dando como resultado un mayor contenido de ferrita [1, 10]. En este sentido, a partir de lo observado en las diferentes condiciones analizadas, la disminución de la dilución con la velocidad de soldadura controla el balance estructural, resultando en un aumento del contenido de ferrita.

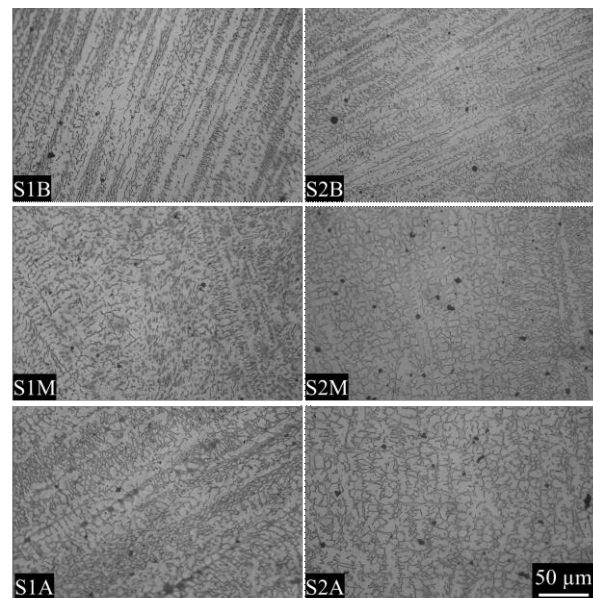


Fig. 4. Microestructura del último cordón de las distintas muestras soldadas.

Por otro lado, se pudo observar la precipitación de una tercera fase, ubicada principalmente en el interior de la ferrita. Como se muestra en la Figura 4, dicha precipitación fue más evidente en las muestras soldadas con mayores HI. La literatura [12] comenta

que los SDSS son susceptibles a la precipitación de compuestos intermetálicos gracias a su alto contenido de aleación. En este sentido, soldaduras SDSS con alto HI o largos períodos de tiempo en el rango de 600 a 1000 °C puede generar la precipitación de fase Sigma y Chi. Las fases observadas mediante microscopía óptica podrían ser algunos de los compuestos intermetálicos mencionados anteriormente y disminuir las propiedades en tenacidad y en resistencia a la corrosión.

La Tabla 5 presenta los contenidos de ferrita, de austenita y los valores de microdureza, en zonas del último, medidos para las diferentes condiciones de soldadura. Estos resultados confirman las observaciones efectuadas mediante microscopía óptica.

Cupón	Austenita (%)	Ferrita (%)	Dureza (H_{V1})
S1B	78	22	245
S1M	76	24	275
S1A	64	36	285
S2B	68	32	274
S2M	64	36	278
S2A	61	39	283

Tabla 5. Cuantificación microestructural y dureza.

El HI, modificado por medio de la velocidad de soldadura, influyó en el balance microestructural de los depósitos, al igual que la cantidad de capas asociado al porcentaje de dilución y a la velocidad de enfriamiento discutido anteriormente.

Además, considerando los resultados de la Tabla 5, en donde se muestran los valores de dureza para las distintas condiciones de recargue, se observa que, si bien no se encontraron grandes variaciones (40 H_{V1}), a menor velocidad de soldadura, mayor HI, mayor dureza. Esto podría estar asociado, a los mayores contenidos de ferrita medidos en la microestructura para estas condiciones, ya que la ferrita presenta mayor dureza respecto a la austenita [13].

4. Conclusiones

El aumento del aporte térmico, al disminuir la velocidad de soldadura, en los recargues de SDSS generó el aumento del ancho y altura de los cordones depositados. Sin embargo, no se midieron grandes diferencias en la penetración, generando una menor dilución y aumentando el contenido de ferrita y la dureza del depósito. Además, en estas condiciones, se observó la presencia de precipitados que podrían estar asociados a compuestos intermetálicos.

Por otro lado, la segunda capa de recargue respecto a una simple capa, generó menores valores de dilución, acercándose al balance de fases buscado. En estos casos la dureza fue superior que para una capa.

Para los recargues soldados con una capa, a partir del segundo cordón soldado, no se generan grandes variaciones de dilución manteniéndose la misma constante para los sucesivos cordones. El equilibrio microestructural en recargues con SDSS está controlado fundamentalmente por el grado de dilución y en menor medida por la velocidad de enfriamiento (HI). Sin embargo, la soldadura de estos aceros con alto HI puede generar la precipitación de compuestos intermetálicos

disminuyendo las propiedades. Mayores estudios son necesarios para identificar los precipitados encontrados y su efecto sobre la resistencia a la corrosión

Agradecimientos

Los autores agradecen a Daniel Betz de BOHELER Argentina por la provisión del consumible utilizado, a Ricardo Flores de AIR LIQUIDE Argentina por la donación de los gases de soldadura, a Eduardo Asta de ESAB-CONARCO Argentina por los análisis químicos, a Mercedes Pianetti del Laboratorio de Microscopía Electrónica del INTI - MECÁNICA por las imágenes SEM y a la UNLZ por el aporte financiero.

REFERENCIAS

- [1].T. Kannan and N. Murugan "Prediction of Ferrite Number of duplex stainless steel clad metals using RSM". *Weld J* **2006**: 85 (91) 91s-100s.
- [2].T. Kannan and N. Murugan "Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality". *J Mater Process Tech* **2006**: 176 230-239.
- [3].L. Karlsson and H. Arcini "Low energy input and high dilution welding of duplex stainless steels ". *IIW Doc.* **2011**: IX-2356r1-11 (IX-H-737-11) 1-11.
- [4].A. Eghlimi, M. Shamanian and K. Raeissi "Effect of current type on microstructure and corrosion resistance of super duplex stainless steel cladding produced by the gas tungsten arc welding process". *Surf Coat Tech* **2014**: 244 45-51.
- [5].J. M. Pardal, S. S. M. Tavares, M. C. Fonseca, J. A. d. Souza, R. R. A. Côte and H. F. G. d. Abreu "Influence of the grain size on deleterious phase precipitation in superduplex stainless steel UNS S32750". *Mater Charact* **2009**: 60 165-172.
- [6].L. Karlsson "Welding duplex stainless steels - A review of current recommendations". *IIW Doc.* **2011**: IX-2355-11 (IX-H-736-11) 1-17.
- [7].BÖHLER "Technical Information: BÖHLER CN 25/9 CuT-IG". GMAW solid wire, high alloyed, highly corrosion resistant **2010**
- [8].M. D. Almenara, J. Vidal, A. Mateo, G. Fargas and F. Canejo "Modelos empíricos para la predicción de la geometría del cordón en soldaduras a tope de un acero inoxidable dúplex 2205". *Dyna* **2011**: 78 (169) 206-215.
- [9]. Zappa, S., et al. Efecto del aporte térmico sobre la microestructura y la dureza en soldaduras de acero inoxidable dúplex. in CONAMET-SAM 2014. **2014**. Argentina.
- [10].D. J. KOTECKI "Dilution control in single-wire stainless steel submerged arc cladding". *Weld J* **1996**: 75 ((2)) 35s-45s.
- [11].J. M. Vitec, S. A. Davis and C. R. Hinman "Improved ferrite number prediction model that accounts for cooling rate effects – Part 2: Model results". *Weld J* **2003**: Vol. 82 (No. 2) 43-s-50-s.
- [12].M. Yousefieh, M. Shamanian and A. Saatchi "Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding (PCGTAW) parameters for corrosion resistance of super duplex stainless steel (UNS S32760) welds using the Taguchi method". *J Alloy Compd* **2011**: 509 782-788.
- [13].M. Martins and L. C. Casteletti "Effect of heat treatment on the mechanical properties of ASTM A 890 Gr6A super duplex stainless steel". *Journal of ASTM International* **2005**: Vol. 2 (No. 1) 1-14.